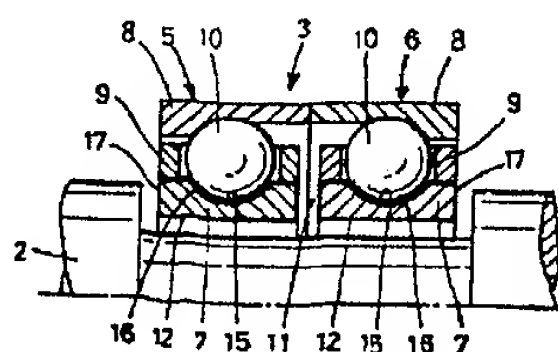


===== WPI =====

- TI - Touchdown bearing for supporting rotation element of magnetic axial receiving apparatus - establishes contact between rotation element and surface to be contacted during touchdown forming film of molybdenum disulfide
- AB - JP11257353 NOVELTY - A rotation element (2) is arranged opposite to inner or outer ring (8). A contact is established between rotation element and surface to be contacted. Retainer contains copper metal film of molybdenum disulfide touchdown forming a film (17) of molybdenum disulfide. DETAILED DESCRIPTION - A retainer (9) with a copper lead and a leaden film (16) are formed by a ball rolling surface (15) on an inner ring (7) surface.
- USE - For supporting rotation element of magnetic axial receiving apparatus.
- ADVANTAGE - Provides conditions for optimum durability of touchdown bearing. Achieves endurance to multiple touchdown due to formation of film of molybdenum disulfide. Improves operation efficiency due to stabilization of magnetic axial receiving apparatus. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows structural drawing of apparatus. (2) Rotation element; (7) Inner ring; (8) Outer ring; (9) Retainer; (15) Ball rolling surface; (16) Leaden film; (17) Film.
- (Dwg.1/15)
- PN - JP11257353 A 19990921 DW199950 F16C32/04 008pp
- PR - JP19910187419 19910726;JP19990007687 19910726
- PA - (NTNT ) NTN CORP
- DC - Q62
- IC - F16C32/00 ;F16C32/04
- AN - 1999-587255 [50]

===== PAJ =====

- TI - TOUCH-DOWN BEARING FOR MAGNETIC BEARING DEVICE
- AB - PROBLEM TO BE SOLVED: To realize maximum life by forming a holder of copper metal including lead, and arranging a ball rolling surface on which a lead coated film is formed and a surface which is brought into contact with a rotating member at the time of touch-down when molybdenum disulfide coated film is formed, on surfaces of inner and outer wheels arranged opposing to the rotating member.
- SOLUTION: A holder 9 is formed on an annular member of copper metal including lead such as lead bronze by mechanically working a pocket hole to which a ball 10 is fitted. A lead coated film 16 is formed on a ball rolling surface 15 of an inner wheel 7 opposed to a rotary shaft 2, and a coated film 17 of molybdenum disulfide is formed on a surface of the other inner wheel 7 by means of sputtering. Lead of the lead coated film 16 on the ball rolling surface 15 is transferred to a ball 10 surface by rotating motion, and it is lubricated. When lead on the rolling surface 15 or the ball 10 surface is shortened by repeating of abrasion between the inner and outer wheels 7, 8 and the ball 10, lead contained in the holder 9 is filled. At the time of touch-down, a contact surface is lubricated by the coated film 17. It is thus possible to resist this device under several times of touch-down, and it is also possible to stabilize a performance, and improve a work efficiency.
- PN - JP11257353 A 19990921
- PD - 1999-09-21
- ABD - 19991222
- ABV - 199914
- AP - JP19990007687 19990114
- PA - NTN CORP
- IN - OZAKI TAKAMI
- I - F16C32/04 ;F16C32/00



<First Page Image>

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-257353

(43)公開日 平成11年(1999) 9月21日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

FI

F16C 32/04  
32/00

F16C 32/04  
32/00

Z  
C

審査請求 有 請求項の数2 OL (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平11-7687  
(62)分割の表示 特願平3-187419の分割  
(22)出願日 平成3年(1991) 7月26日

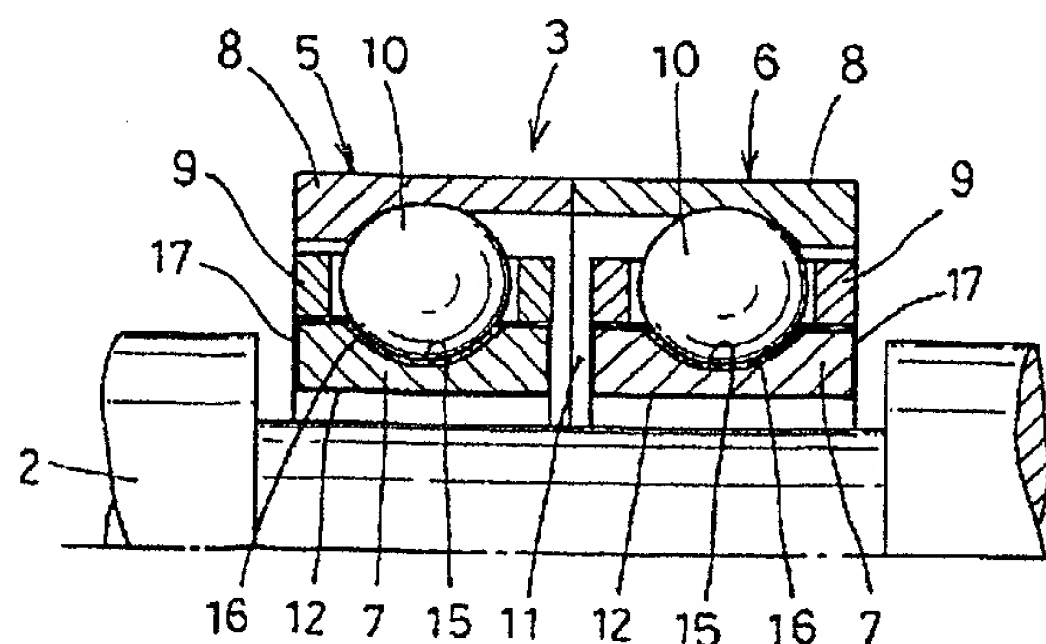
(71)出願人 000102692  
エヌティエヌ株式会社  
大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号  
(72)発明者 尾崎 孝美  
磐田市見付4708番地の3  
(74)代理人 弁理士 鎌田 文二 (外2名)

(54)【発明の名称】 磁気軸受装置のタッチダウン軸受

(57)【要約】

【課題】 タッチダウン軸受の耐久性向上を図る。

【解決手段】 回転部材2に対向配置させている内輪7又は外輪8の表面に、鉛の被膜16を形成したボール転走面15と、二硫化モリブデンの被膜17を形成したタッチダウン時に回転部材2と接触する面とを設けた構成とした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 内輪と、外輪と、この内輪と外輪の間に組込まれた保持器に保持されたボールとからなり、上記内輪又は外輪の一方を、磁気軸受により支持した回転部材に対向配置させている磁気軸受装置のタッチダウン軸受において、上記保持器を鉛含有銅系金属で形成し、上記回転部材に対向配置させている内輪又は外輪の表面に、鉛の被膜を形成したボール転走面と、二硫化モリブデンの被膜を形成したタッチダウン時に回転部材と接触する面とを有することを特徴とする磁気軸受装置のタッチダウン軸受。

【請求項2】 上記鉛含有銅系金属を鉛青銅3種とした請求項1に記載の磁気軸受装置のタッチダウン軸受。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、磁気軸受装置の制御不能時に回転部材を支持するためのタッチダウン軸受に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の磁気軸受装置においては、図1に示すように、磁気軸受1で非接触支持された回転軸2の両端部にタッチダウン軸受3、4を配置し、突然の断線や停電等によって磁気軸受1が制御不能になった場合に、タッチダウン軸受3、4が回転軸2を支持して、磁気軸受1や回転軸2の損傷を防ぐ構造がとられている。

【0003】図2は、上記装置における下側のタッチダウン軸受3の構造を示しており、この軸受3は、2個のアンギュラ玉軸受5、6の正面組合せとして、ラジアル荷重とアキシャル荷重の両方を受けようとしている。この各アンギュラ玉軸受5、6は、内輪7と外輪8の間に、保持器9で保持される複数のボール10を組込んで形成され、各内輪7の組合せ面には研削加工によりすき間11が設けられ、内輪の熱膨張により軸受に予圧がかからないようになっている。

【0004】上記構造のタッチダウン軸受3では、内輪7が回転軸2に対向し、その内径面がタッチダウン面12となる。一方、図1において、ハウジング側を回転させ、中央の軸に設けた磁気軸受によってハウジングを支持するようにした構造では、タッチダウン軸受の外輪8が回転部材であるハウジングに対向し、その外径面でタッチダウンすることになる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記のタッチダウン軸受は、従来、緊急用として考えられていたため、1回又は2回のタッチダウンによって軸受が使用不能になってもやむを得ないこととされていた。しかし、使用不能となったタッチダウン軸受を交換するには、磁気軸受装置を分解し、軸受を交換した後、内輪又は外輪と回転部材との間のタッチダウンすき間を、磁気軸受の軸受すき間に対して高精度に調整しつつ軸受装置を組立

てる作業が必要になるため、作業に著しく手間がかかる不具合がある。このため、最近では、タッチダウン軸受の耐久性を上げ、多数回のタッチダウンにも耐えることができる構造が求められている。

【0006】しかしながら、従来のタッチダウン軸受は、焼付きを生じないようなボールと保持器の材料の組合せや、真空中での潤滑のために固体潤滑材でボール転走面や摺動面を潤滑する構造はとられているが、最適な耐久性を得るための材料や潤滑剤の組合せについては何ら考慮されておらず、寿命向上を図る上での指針が全く確立されていないのが実情である。

【0007】そこで、この発明は、潤滑剤や保持器の材料の最適な組合せの条件を与え、最長の寿命を実現できるタッチダウン軸受を提供しようとするものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するため、この発明は、内輪と、外輪と、この内輪と外輪の間に組込まれた保持器に保持されたボールとからなり、上記内輪又は外輪の一方を、磁気軸受により支持した回転部材に対向配置させている磁気軸受装置のタッチダウン軸受において、上記保持器を鉛含有銅系金属で形成し、上記回転部材に対向配置させている内輪又は外輪の表面に、鉛の被膜を形成したボール転走面と、二硫化モリブデンの被膜を形成したタッチダウン時に回転部材と接触する面とを有する構造としたものである。

【0009】ここで、上記の鉛含有銅系金属は、鉛青銅3種とするのが望ましい。

【0010】

【作用】上記の構造においては、内外輪とボールの回転運動によって、ボール転走面の鉛被膜の鉛がボールの表面に転移し、潤滑作用を行なう。また、内外輪とボールの摩擦の繰返しにより転走面又はボール表面の鉛が不足すると、保持器に含有された鉛が転走面やボール表面に補充され、潤滑剤の枯渇を防止する。

【0011】一方、タッチダウンの際は、二硫化モリブデンの被膜が内輪又は外輪と他部材との接触面を潤滑し、焼付きを防止すると共に、摩耗を抑制する。

【0012】

【実施例】この発明に係るタッチダウン軸受の基本構造は、図2に示す従来のものと同じであり、内輪7と外輪8の間に複数のボール10が介在し、そのボール10を保持器9が保持している。

【0013】上記保持器9は、図3に示すように、鉛青銅等の鉛を含有する銅系金属で形成した環状部材13に、ボール10が嵌合するポケット孔14を機械加工して形成されている。

【0014】また、回転軸2に対向する内輪7のボール転走面15には、鉛の被膜16が形成され、そのボール転走面15以外の内輪7の表面に、スパッタリングにより二硫化モリブデン(MoS<sub>2</sub>)の被膜17が形成され

てい。この場合、二硫化モリブデンの被膜17の上には鉛が転移しにくいため、ボール転走面15をマスキングした状態で内輪7の表面に二硫化モリブデンをスパッタリングし、その後、ボール転走面15に鉛棒を押し付けるなどして鉛をすり込み、鉛の被膜16を形成する。

【0015】このようにボール転走面15に形成される鉛の被膜16は、回転初期におけるボール10の潤滑剤として作用し、ボール10に転移した鉛は、保持器9に含有されている鉛を引出す役目をする。

【0016】また、鉛青銅等などの鉛含有銅系金属は、真空・高温の条件下において他の耐熱性高分子材料よりも放出ガス量が少ないため、高真空中で用いても真空中に悪影響を及ぼさない。

【0017】上記のような鉛の被膜16や、二硫化モリブデンの被膜17は、固定側の外輪8の表面に設けてもよいが、回転軸2と接触する内輪7の表面だけに設けるだけでも十分な潤滑効果を得ることができる。

【0018】一方、内輪7及び外輪8は、SUJ2等の軸受鋼又はSUS440C等のステンレス鋼で形成され、ボール10は、焼入鋼又はセラミックス等で形成される。特に、SiN等のセラミックス製のボールは、鉄材との溶着が極めて少ないために、焼付きがなく、かつ高い耐摩耗性を得ることができる。しかし、このような材料に限定されるものではなく、耐摩耗性が高く焼付きが生じにくい組合せであれば、他の任意の材料を選択することができる。

【0019】なお、図2のタッチダウン軸受は、アンギュラ玉軸受5、6を正面組合せした構造を示したが、ラジアル荷重だけを受ける構造の場合（図1に示す磁気軸受装置における上側のタッチダウン軸受4）は、図4に示すような単列の深みぞ玉軸受を用いることができる。この場合の保持器9'は、図5に示すように、幅方向に2つ割りされる環状部材18a、18bを、リベット19によって一体に固着して形成される。

【0020】また、実施例では、回転軸2を内輪7にタッチダウンさせる構造を示したが、内輪7を固定し、外輪8を回転部材にタッチダウンさせる装置にも適用することができる。この場合には、少なくとも外輪8のボール転走面に鉛の被膜16を形成し、それ以外の外輪8の表面に、二硫化モリブデンの被膜17を形成するようにする。

#### 【0021】—実験例—

本発明者は、耐久寿命の向上を引出す上で最適な保持器の材料や、潤滑剤の種類、及びそれらの最良の組合せを知るために各種の実験を行なった。次に、その実験例について述べる。

【0022】（実験例1）保持器は、ボールを回転自在

に案内し、かつ、ボール部材転走面に潤滑剤としての鉛を補充する重要な役目を持ち、安定したトルク特性と、補充に適した鉛含有構造が求められる。

【0023】そこで、実験例1では、上述した最適な特性をもつ保持器の材料を知るため、保持器を、表1に示すような含有成分を有する鉛青銅2種、3種、4種でそれぞれ形成し、それらを用いて回転試験を行ない、軸受のトルク特性と各部品の重量変化を調べた。

【0024】

【表1】

保持器の種類	化学成分 (wt.%)				
	Cu	Sn	Pb	Zn	その他
鉛青銅2種	残部	9.0 ~11.0	4.0 ~6.0	<1.0	<2.3
鉛青銅3種	残部	9.0 ~11.0	9.0 ~11.0	<1.0	<2.3
鉛青銅4種	残部	7.0 ~9.0	14.0 ~16.0	<1.0	<2.3

【0025】回転試験においては、上述した各種の保持器を、予めボール転走面に鉛をすり込んだ玉軸受に装着し、その玉軸受を、高真空・高温の状態下で配置された回転軸に取付け、その回転軸を所定の総負荷回転数まで回転させた場合の軸受の摩擦トルクの変化を測定した。表2に、その回転試験の条件を示す。

【0026】

【表2】

回転数 (rpm)	スラスト荷重 (kgf)	真空度 ( $\times 10^{-7}$ Torr)	温度 ( $^{\circ}$ C)	総負荷回転数 (rev.)
5000	3	1~8	150	$3.75 \times 10^7$

【0027】図6乃至図8は、トルク特性の試験結果を示したものである。図6に示すように、保持器に鉛青銅2種を用いた場合は、総負荷回転数に達するまでに急激なトルク上昇を起こし、寿命に至った。これに対して、図7及び図8に示すように、鉛青銅3種及び4種を用いた場合は、総負荷回転数に達するまで安定したトルクを示した。この場合、鉛青銅4種は、3種に比べて高いトルク値を示した。

【0028】一方、表3は、上述した各種の試験用軸受における試験後の各部品の重量変化を示したものである。

【0029】

【表3】



(単位: mg)

軸受仕様 (保持器の種類)	保持器	内 輪	外 輪	鋼 球	摩耗粉 発生量
鉛青銅2種	-2.10	+3.0	0	+0.45	1.35
鉛青銅3種	-0.50	-0.15	-0.05	+0.20	0.50
鉛青銅4種	-2.15	-0.20	-0.40	+1.55	1.20

【0030】この表に示すように、保持器に鉛青銅3種を用いた場合は、各部品や保持器の重量変化が最も小さく、わずかの保持器の摩耗で効率的な潤滑がなされ、かつその潤滑状態が長時間保持されたことが解る。また、試験後のボール転走面は滑らかな面を示し、摩耗トルクの少なさが裏付けられた。

【0031】これに対して、鉛青銅4種の場合は、保持器の摩耗減量が大きく、物質の転着による鋼球の重量増加も大きい値を示した。また、試験後のボール転走面の表面には、鉛が多く残留しているのが見られ、その残留した鉛が、鉛青銅3種に比べて高い摩擦トルク7を示す原因になったと考えられる。

【0032】一方、鉛青銅2種の場合は、試験時間が他の試験品に比べて短いにも拘わらず保持器の摩擦減量が大きく、試験後のボール転走面は荒れた状態を示した。これは、鉛青銅2種にボール転走面での鉛の不足を補うだけの鉛含有量がなく、ボール転走面に予めすり込んだ鉛の潤滑作用が無くなった時点で潤滑剤の枯渇が生じ、これによって保持器の摩耗が急激に進行し、摩耗粉の噛み込みにより寿命に至ったことが推察される。

【0033】以上のことから、鉛青銅3種と4種には、ボール転走面での潤滑剤不足を補充するのに十分な鉛含有量があるが、ボールを保持するための強度やトルク特性の上で鉛青銅3種が優れており、これにより、保持器の材料として鉛青銅3種が最も適していることが示された。

【0034】(実験例2) 一方、真空中の摺動面に対して、蒸発圧の低い固定潤滑剤の被膜が良好な潤滑性を示すことが知られている。このため、実験例2では、各種の固体潤滑剤(二硫化モリブデン( $\text{MoS}_2$ ))、銀(Ag)、鉛(Pb))のうち、どれが最も良好な潤滑性能を示すかを調べた。

【0035】試験は、転がり軸受の転走面に、上述した各種の潤滑剤の被膜を形成し、その転がり軸受を、真空中で1kgfのスラスト荷重を加えた状態において、回転数2500rpmで回転試験し、軸受の摩擦トルクの変化を測定した。図9は、試験結果を回転試験の初期、中期、後期に分けて示したものである。

【0036】この図9に示すように、銀や鉛の場合、ト\*

10 \*ルクが次第に増大するのに比べて、二硫化モリブデンの場合、トルク変化が極めて小さな範囲に収まっており、二硫化モリブデンが真空中の摺動面に対して優れた潤滑性能を発揮することが示された。

【0037】(実験例3) 上記の実験例1及び2により、保持器の材料として鉛青銅3種が、また摺動面の潤滑剤として二硫化モリブデンが最も適するという結果が得られたので、この実験例3では、それらと内外輪やボールの材質との組合せにおいて、寿命向上に最適な条件を求めた。

20 【0038】図10は、この実験に用いた試験装置の構造を示している。この試験装置は、真空ポート(排気口)22を備えるハウジング21の内部に、試験用軸受23とダミー用軸受24を介して主軸25を回転自在に支持し、ハウジング21内に、主軸25を回転駆動する誘導モータ26を組み込んでいる。また、ハウジング21の端部に、負荷調整ねじ27と皿バネ28を取付け、ねじ27の操作により試験用軸受23に加えるアキシャル方向の予圧と荷重を調整できるようにしている。

30 【0039】試験用軸受23は、単列の玉軸受を使用し、アキシャル方向の荷重だけを受けるようにした。また、試験用軸受の内輪には、赤外式幅射温度計を取付け、ハウジング21の前面に、その幅射温度計の温度読取り用の測定窓29を設けた。

40 【0040】試験は、まず、負荷調整ねじ27により試験用軸受23の予圧を調整し、ハウジング21内部を真空排気した後、主軸25を定格回転させた。次に、負荷調整ねじ27の操作により試験用軸受23に300kgfのアキシャル荷重をかけ、それと同時に一定の加速度で主軸25を減速させ、その時の誘導モータ26の出力値Kwと、試験用軸受23の内輪の温度変化を、試験用軸受23の完全停止まで測定した。この場合、主軸25を減速させる加速度は、 $-70\text{rpm}/\text{min}$ の一定加速度とした。

【0041】表4は、この実験で用いた試験用軸受の組合せ条件を示したものである。

【0042】

【表4】

7

8

サンプル No	ボ ー ル		保持器 の材料	軌道輪の表面処理	
	材 料	表面処理		内 輪	外 輪
1	S U J 2	M o S <sub>2</sub> スパッタ	鉛青銅 3種	全面M o S <sub>2</sub> スパッタ	無 し
2	S U J 2	無 し	同 上	ボール転走面 P bすり込み	ボール転走面 P bすり込み
3	S i <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	無 し	同 上	全面M o S <sub>2</sub> スパッタ	無 し
4	S i <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	無 し	同 上	ボール転走面 P bすり込み	ボール転走面 P bすり込み
5	S i <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	無 し		全面M o S <sub>2</sub> スパッタ	無 し

【0043】上記の表において、内輪と外輪は共にS U J 2の焼入れ品を使用した。また、サンプルN o. 5は、鉛青銅の保持器による潤滑剤の補充効果をみるために、保持器を使用せずにボールだけを内外輪間に組込んだ総ボール型の玉軸受を使用したものである。

【0044】図1 1乃至図1 5は、それぞれ表4のサンプルN o. 1乃至N o. 5の試験結果を示している。

【0045】これらの試験結果をまとめると、次のようになる。

【0046】(1) 図1 1及び図1 3に示すように(サンプルN o. 1及びサンプルN o. 3)、ボール転走面の潤滑剤に二硫化モリブデン(M o S<sub>2</sub>)を用いた場合、タッチダウン直後に急激なトルク上昇となる例が多く生じた。このことは、二硫化モリブデンの被膜はボール転走面の潤滑に不向きであり、鉛青銅の保持器からの潤滑剤補充が期待できないことを示している。

【0047】(2) 図1 2及び図1 4に示すように(サンプルN o. 2及びサンプルN o. 4)、ボール転走面の潤滑剤に鉛(P b)を使用した場合は、良好なタッチダウン特性が得られた。また、試験結果では、ボールの材料にS U J 2を使用した場合(サンプルN o. 2)、タッチダウン途中でのトルク変動が大きく、ボール材料にセラミックス(S i<sub>3</sub> N<sub>4</sub>)を使用した場合(サンプルN o. 4)の方が安定したトルク特性を示した。

【0048】(3) 図1 5に示すように(サンプルN o. 5)、総ボール形式では、タッチダウン直後のトルクは低い、わずかな時間の経過後、急激なトルク上昇に至った。これは、保持器からの潤滑剤の補充機能がないために、ボール転走面の潤滑不足が生じ、それがトルク上昇の原因になったと考えられる。

【0049】上記の試験結果から、ボール転走面の潤滑剤には鉛が適し、保持器から鉛の補充によって安定したトルク特性が得られることが解る。しかし、実験例2の結果では、金属同士の摺動面に鉛より二硫化モリブデンの方が良好な潤滑性能を示しており、内輪におけるタッ

\* チダウン面や保持器の案内面の潤滑は、二硫化モリブデンの被膜の方が適していると考えられる。

【0050】以上の実験例1、2、3の結果から、最適な耐久寿命を実現することができる条件として、次の組合せを挙げることができる。

【0051】① 潤滑は、ボール転走面に鉛の被膜、他部材と接触する軌道輪の表面に二硫化モリブデンの被膜。

【0052】② 保持器は鉛青銅3種。

【0053】③ ボールの材料はセラミックス(S i N 系)。

【0054】なお、上記の条件において、保持器の材料は鉛青銅4種としても、長時間にわたって潤滑剤の安定した補充を行なうことができる。

【0055】また、ボールの材料は、S U J 2としても、若干トルクが高くなるものの十分に使用に耐えることができる。

【0056】

【効果】以上のように、この発明は、従来確立されていなかったタッチダウン軸受に最適な耐久寿命を与える条件を提供するものであり、多数回のタッチダウンにも耐え得る耐久性を実現し、磁気軸受装置の性能の安定化と作業能率の向上が図れる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】磁気軸受装置の構造図

【図2】タッチダウン軸受を示す断面図

【図3】同上の保持器の一部を示す斜視図

【図4】他のタッチダウン軸受を示す断面図

【図5】同上の保持器の一部を示す斜視図

【図6】鉛青銅2種製保持器のトルク特性を示すグラフ

【図7】鉛青銅3種製保持器のトルク特性を示すグラフ

【図8】鉛青銅4種製保持器のトルク特性を示すグラフ

【図9】各種の固定潤滑剤のトルク特性を示すグラフ

【図10】実験例3の試験装置の構造図

【図11】実験例3におけるサンプルN o. 1のタッチ

ダウン特性を示すグラフ

【図12】同上のサンプルNo. 2のタッチダウン特性を示すグラフ

【図13】同上のサンプルNo. 3のタッチダウン特性を示すグラフ

【図14】同上のサンプルNo. 4のタッチダウン特性を示すグラフ

【図15】同上のサンプルNo. 5のタッチダウン特性を示すグラフ

【符号の説明】

1 磁気軸受

2 回転軸

3、4 タッチダウン軸受

5、6 アンギュラ玉軸受

7 内輪

8 外輪

9、9' 保持器

10 ボール

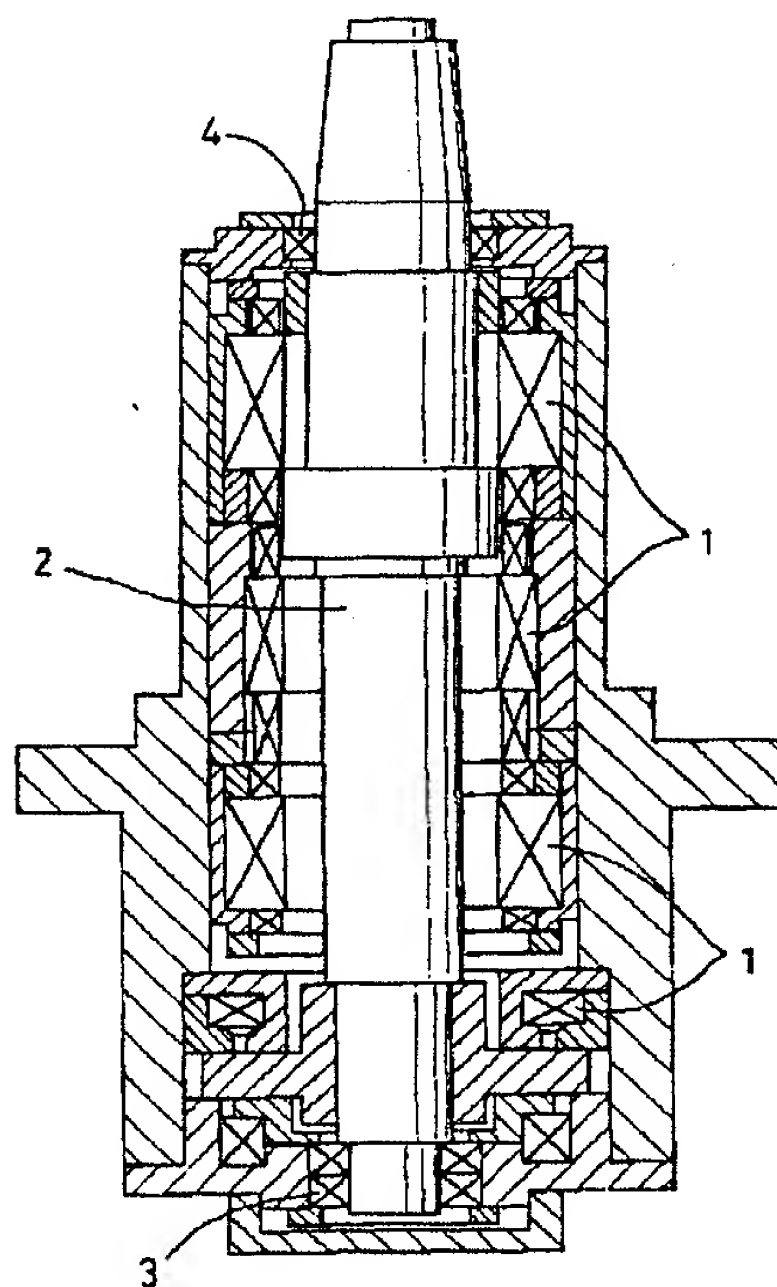
12 タッチダウン面

15 ボール転走面

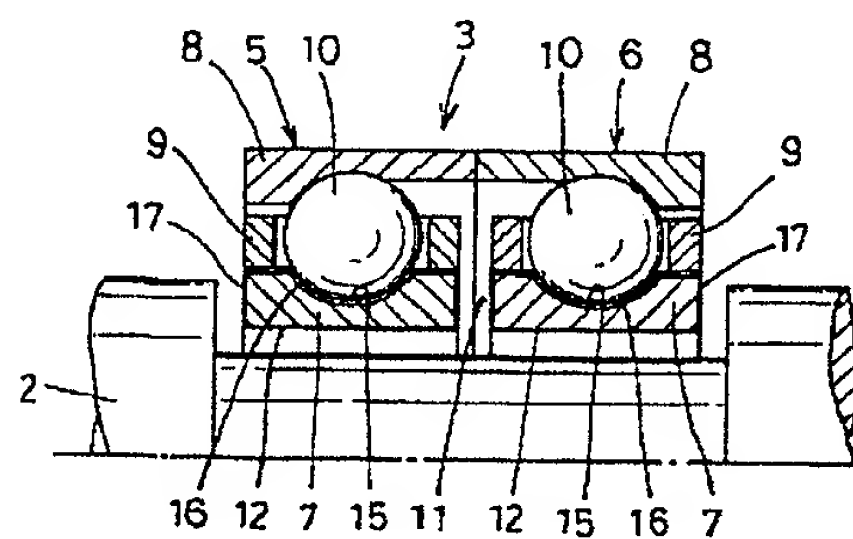
10 16 鉛の被膜

17 二硫化モリブデンの被膜

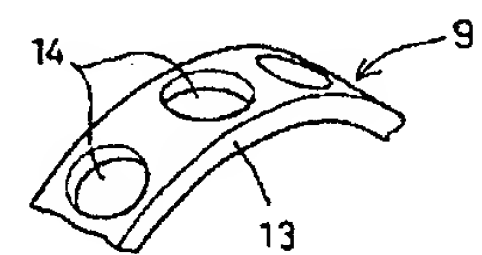
【図1】



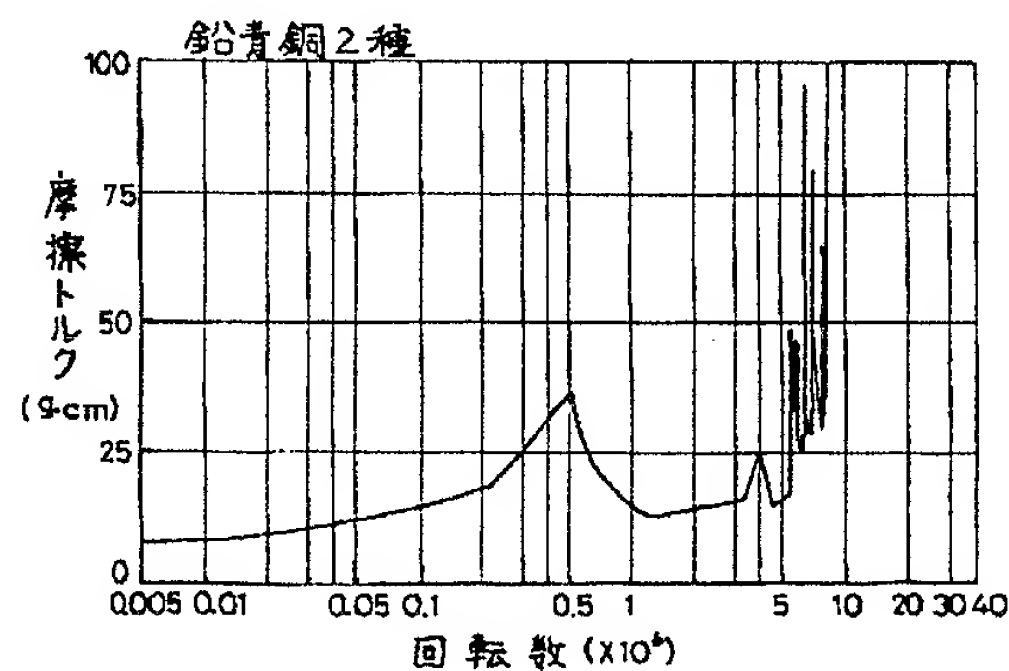
【図2】



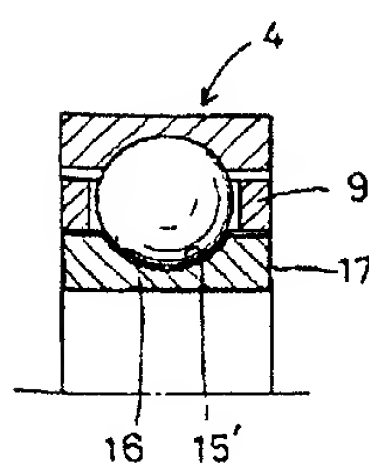
【図3】



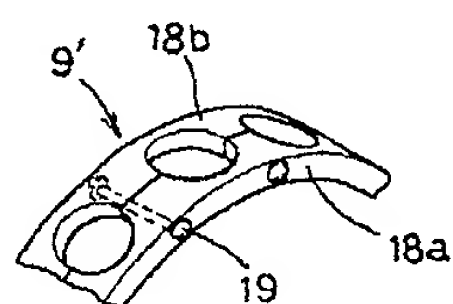
【図6】



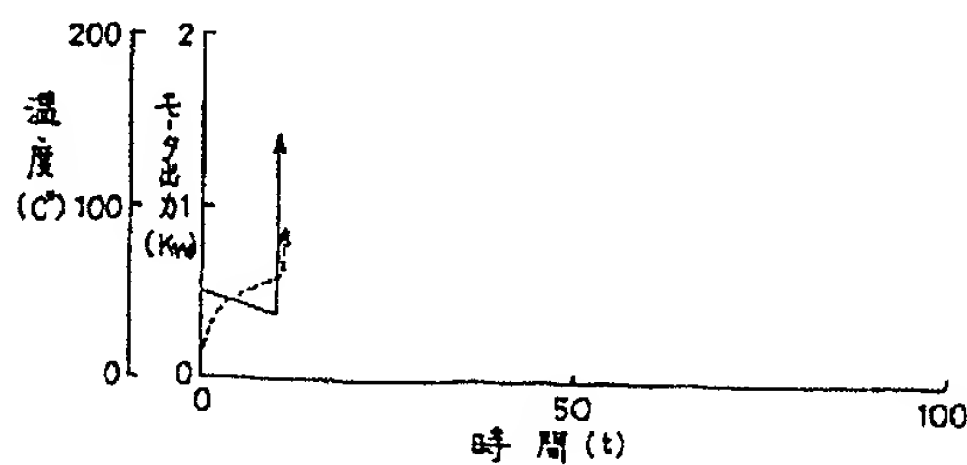
【図4】



【図5】

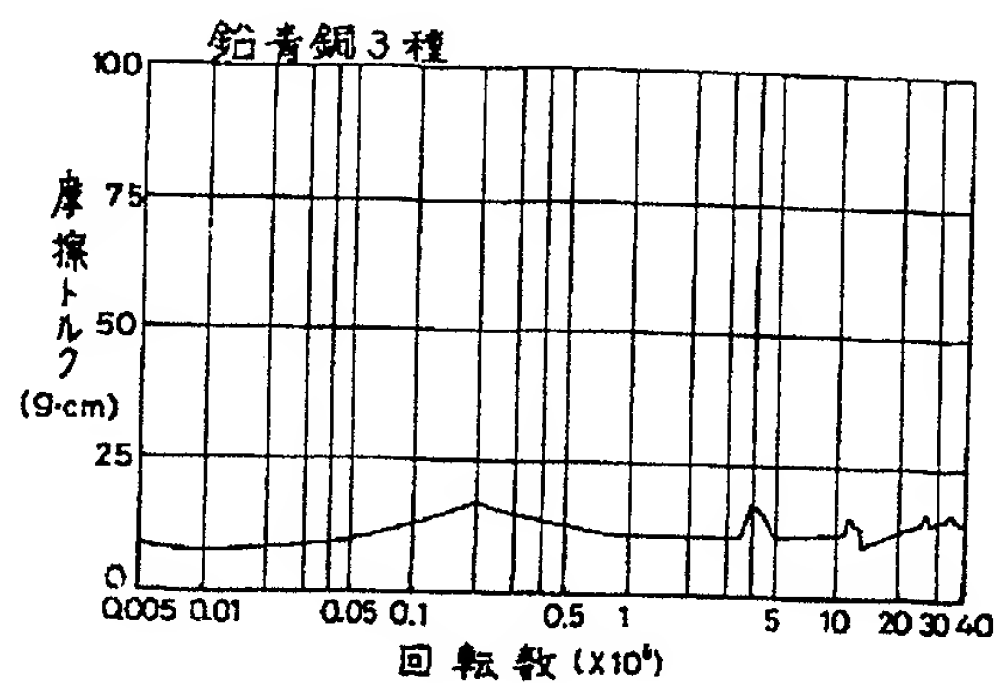


【図15】

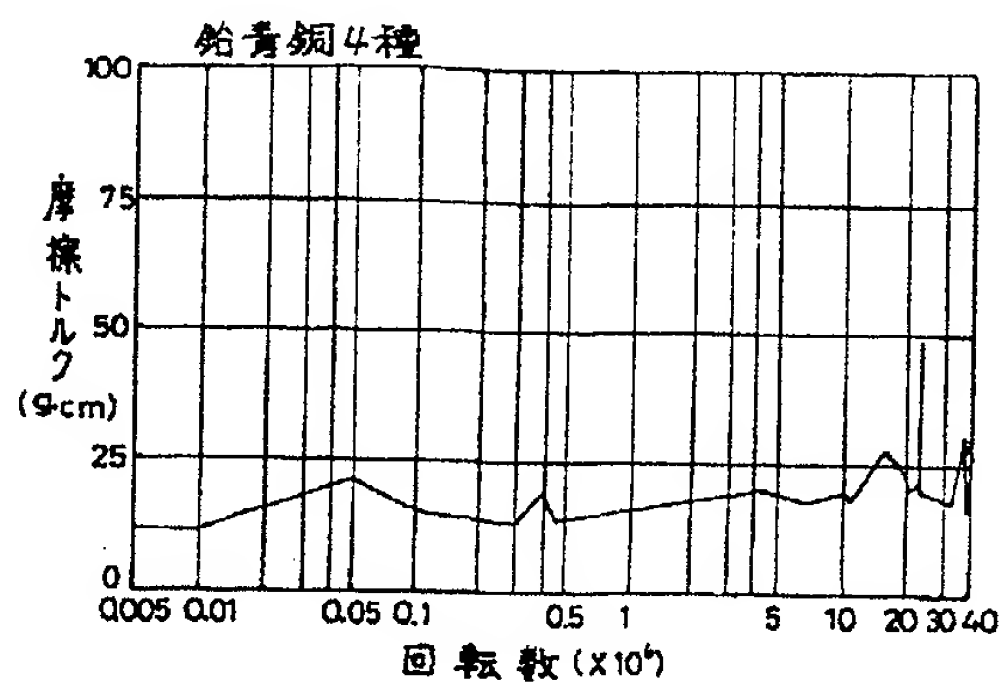




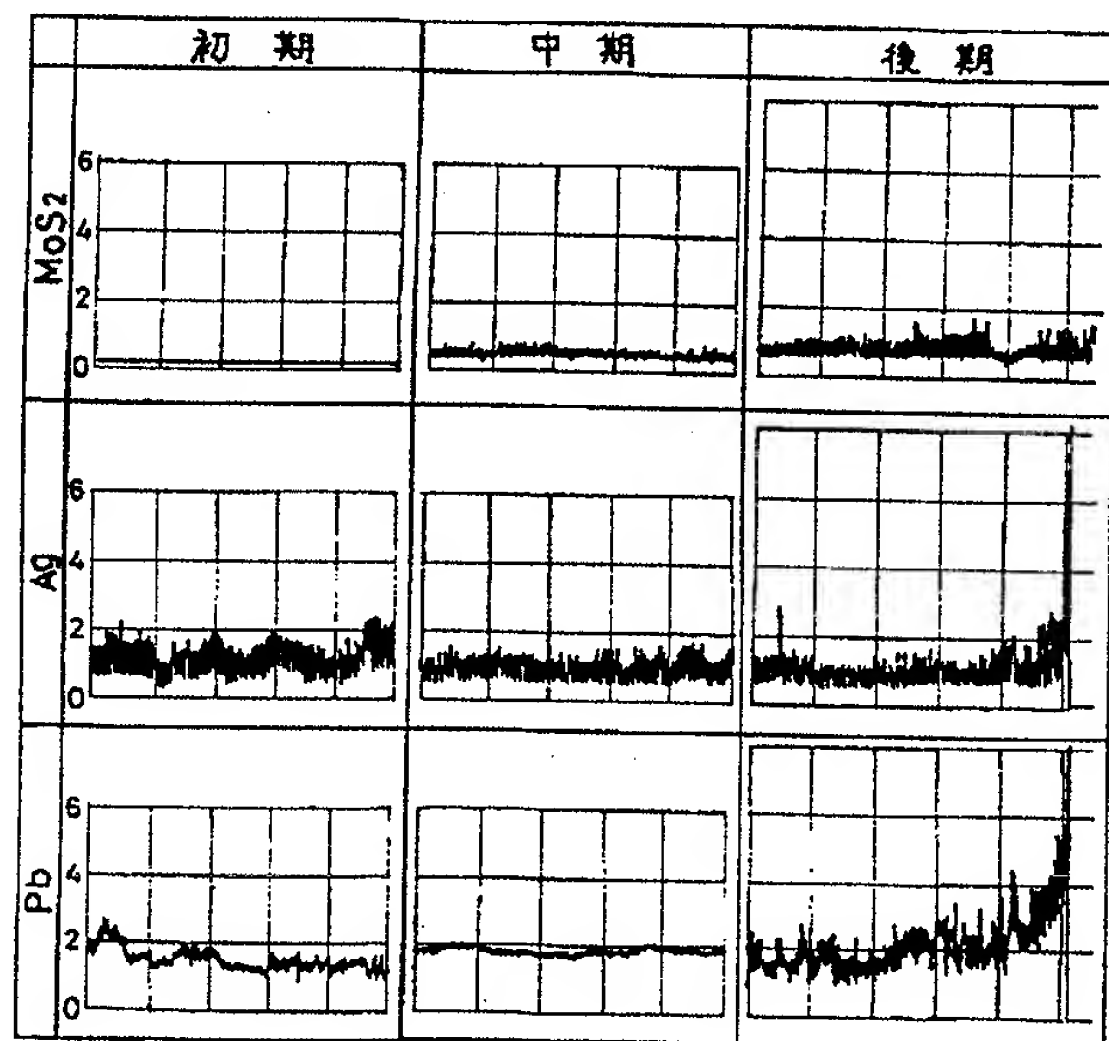
【図7】



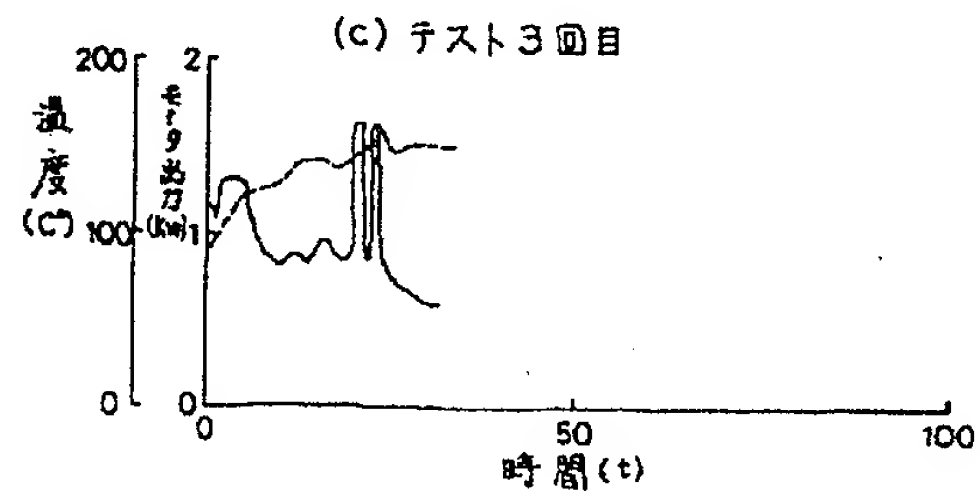
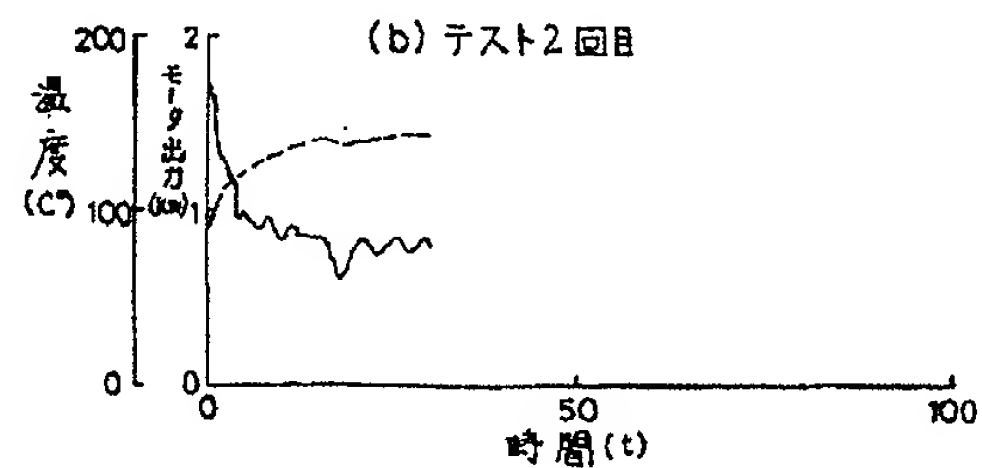
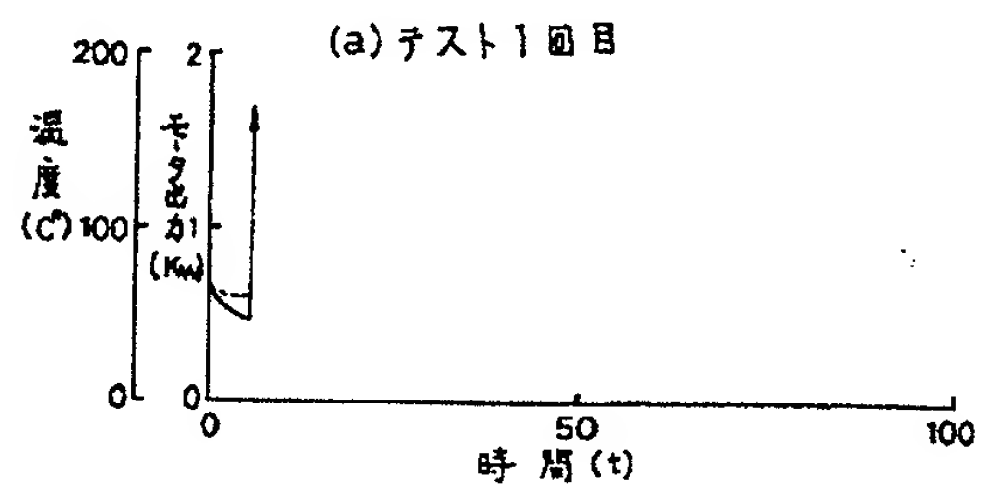
【図8】



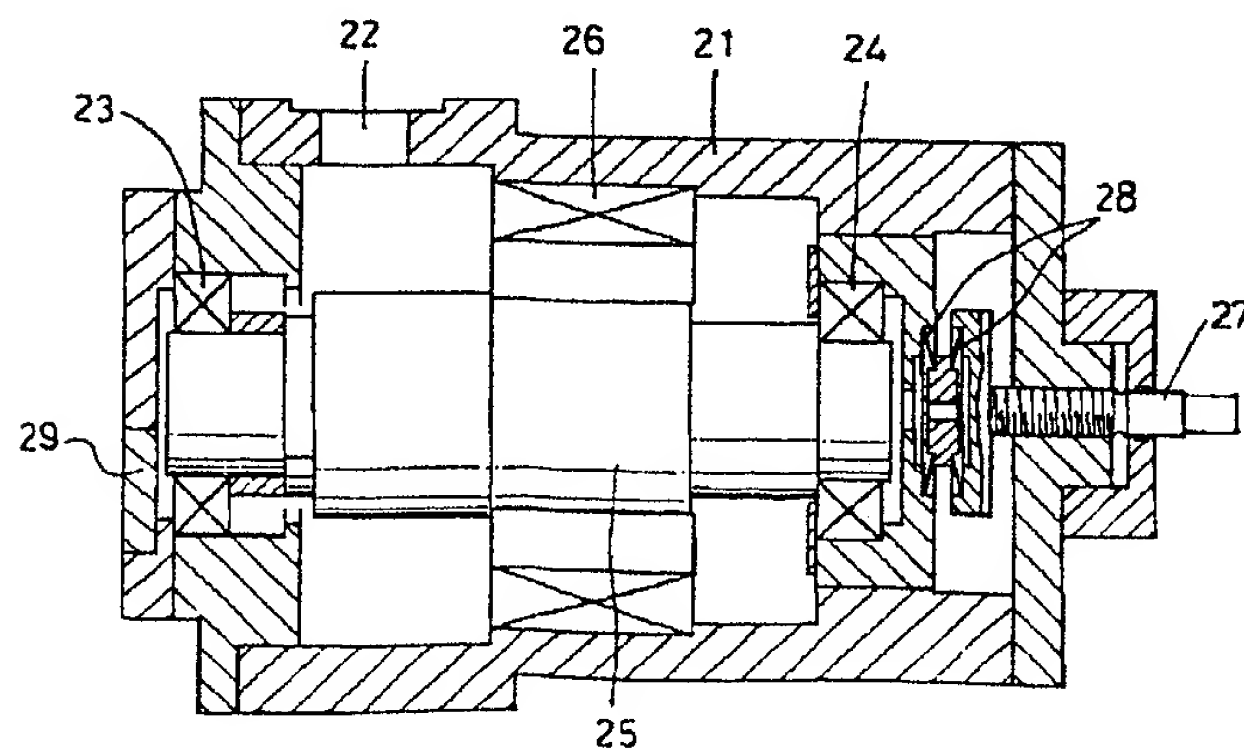
【図9】



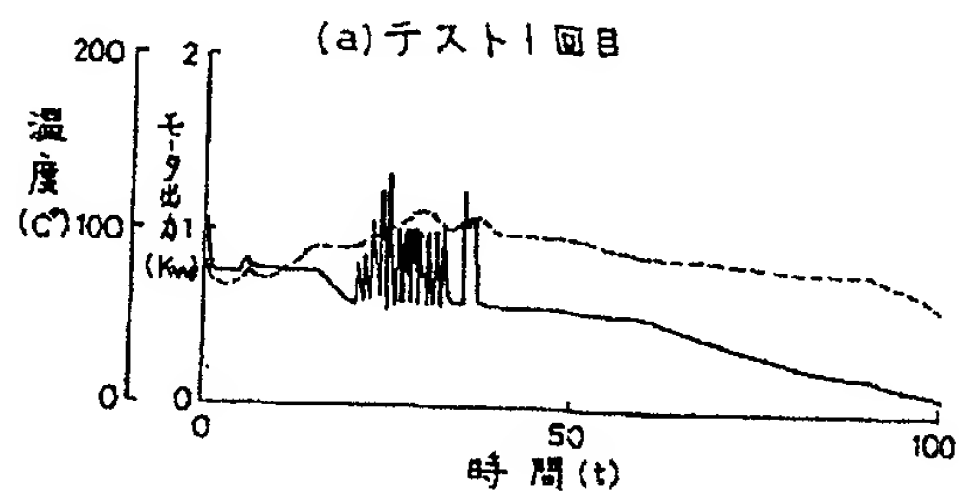
【図11】



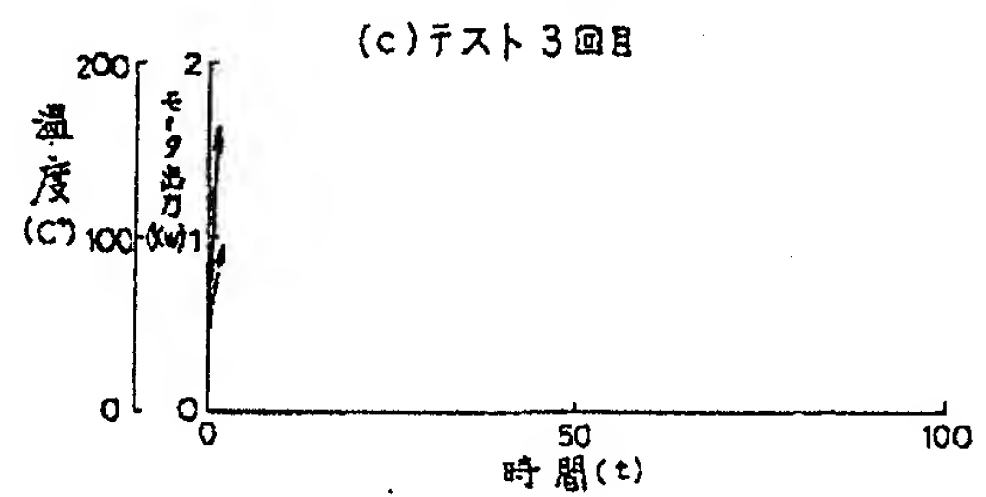
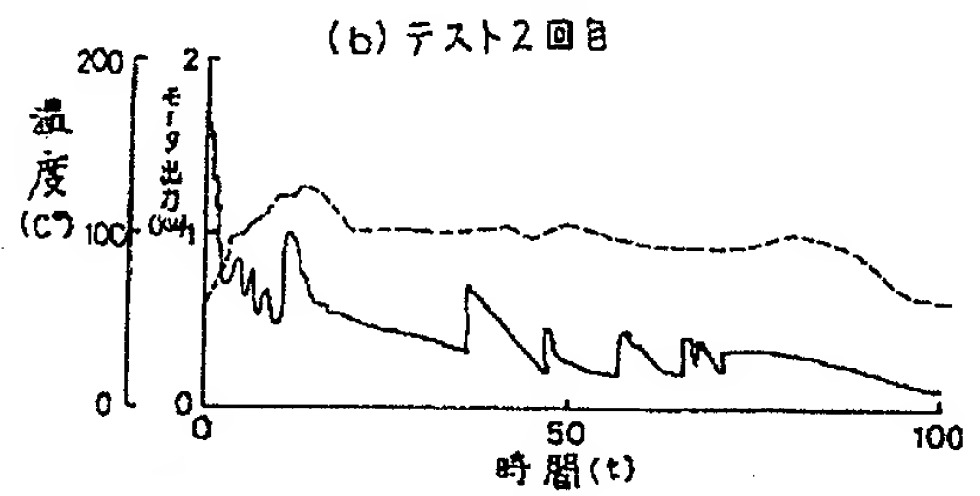
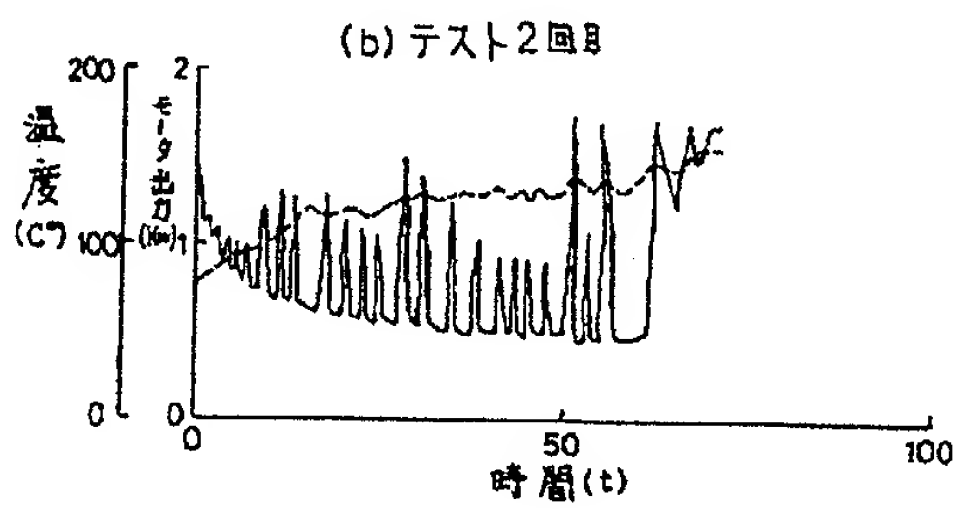
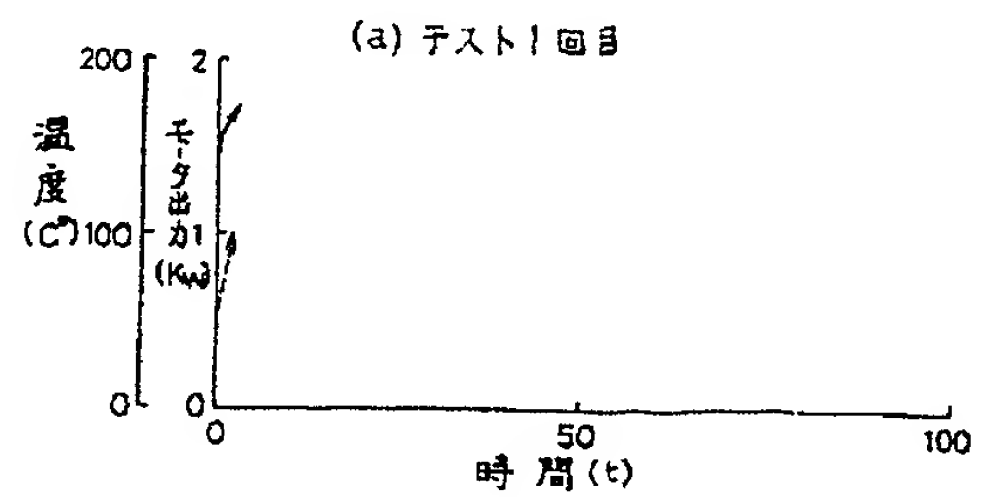
【図10】



【図12】



【図13】



【図14】

